

Beschreibung

Stand der Technik

Eine typische Gasturbine, wie sie in Flugzeugmotoren verwendet wird, besteht aus drei Stufen. Die erste Stufe ist ein Kompressor, in dem Luft zu Hochdruck komprimiert wird. Die zweite Stufe ist die Verbrennungszone, in der die Hochdruckluft und Treibstoffgemisch und verbrannt werden. Die dritte Stufe ist der Abgasbereich und nutzt die Energie des heißen Abgases aus der Verbrennungszone, um Antrieb für das Flugzeug und die erforderliche Energie für den Kompressor zu liefern.

Eine Effizienz einer Gasturbine verbessert sich, wenn die Temperatur der Verbrennungszone so hoch wie möglich ist. Die Verbrennungszone muss daher aus Materialien hergestellt werden, die diesen hohen Temperaturen standhalten können. Die in der Verbrennungszone verwendeten Bauteile werden typischerweise aus Superlegierungen hergestellt (einer bekannten Klasse von Kobalt- und Nickellegierungen, die speziell für die Verwendung bei hohen Temperaturen geeignet sind). Moderne Gasturbinen sind jedoch für den Betrieb mit einer Verbrennungszone ausgelegt, die eine Temperatur von mindestens 1600°C hat, was über dem Schmelzpunkt von Superlegierungen liegt. Die Superlegierung muss daher gegen solche hohen Temperaturen geschützt werden. Ein Ansatz ist die Verwendung einer wärmedämmenden Schicht aus einem Keramikoxid, welches meistens Zirkoniumoxid ist. Ein anderer, nur für Turbinenschaufeln verwendeter Ansatz besteht darin, Löcher durch das Bauteil hindurch bereitzustellen und es mit der durch die Löcher hindurchströmenden Luft zu kühlen. Mit einer solchen Luftkühlung kann das Bauteil gekühlt werden, sie ist allerdings in der Regel allein nicht ausreichend.

Motorenbauteile aus Superlegierungen mit Zirkoniumoxidbeschichtung sind wirksam, haben aber nur eine begrenzte Lebensdauer. Die Wärmeausdehnungskoeffizienten (WDK) von Superlegierungen und Zirkoniumoxid weisen deutliche Unterschiede auf. Deshalb dehnt sich beim Erhitzen eines beschichteten Motorenbauteils aus einer Superlegierung die Superlegierung in einem anderen Maße aus als die Beschichtung. Dadurch entstehen Spannungen an der Schnittstelle zwischen der Superlegierung und der Beschichtung, und schließlich fallen Teile der Beschichtung ab. Das Bauteil muss dann ersetzt werden.

Eine Lösung für dieses Problem ist aus D1 bekannt. Darin ist offenbart, für Turbinenschaufeln eines Turbinenmotors zwischen der Keramikoxid- und der, insbesondere nickelbasierten, Superlegierung eine Haftschrift zu verwenden, die Nickel oder Kobalt sowie 10-50 Gew.-% Aluminium und bis zu 25% Chrom und/oder Yttrium enthält. Der Wärmeausdehnungskoeffizient der Haftschrift liegt zwischen dem der Superlegierung und dem der Keramikoxidschicht, welche mindestens 25 Mikrometer dick ist. Zunächst wird die Turbinenschaufel zunächst mit der Haftschrift beschichtet und anschließend mit der Keramikoxidschicht, vorzugsweise mittels Plasmaspritzen. Die Bauteile des Dokuments D1 weisen eine verbesserte Lebensdauer auf, doch sind weitere Verbesserungen erforderlich.

Aus D2 ist Elektronenstrahlverdampfung als eine Beschichtungstechnik bekannt, wobei ein Keramikoxidtarget in einer Vakuumkammer mittels eines Elektronenstrahls verdampft wird und sich auf dem kälteren, zu beschichteten Bauteil abscheidet.

Die Elektronenstrahlverdampfung ist ein bekanntes Verfahren für das Abscheiden von Keramikoxidschichten auf Bauteile. Bekannt ist auch das Verdampfen von Keramikoxiden mithilfe eines Plasmas. Geeignete Vorrichtungen sind im Handel erhältlich, siehe z.B. Dokument D2. Um verdampft Material als Beschichtung auf ein Superlegierungsbauteil abzuschneiden, muss das Bauteil zuerst an einem Halter befestigt und zusammen mit einer Quelle (Target) für das Keramikoxid und, falls erforderlich, einer Quelle für die Haftschrift in einer Vakuumkammer platziert werden. Die Vakuumkammer wird dann ausgepumpt. In einem typischen Verfahren wird das Bauteil in der ausgepumpten Vakuumkammer kontinuierlich gedreht und dann auf die Temperatur erhitzt, bei der sich das verdampfte Material abscheidet. Das Material für die Haftschrift, falls eine verwendet wird, wird verdampft und scheidet sich auf dem Bauteil ab, was für die Haftschrift in der Regel bei einer Temperatur von 800 - 900°C geschieht. Anschließend wird das Keramikoxid auf der Haftschrift oder, falls keine Haftschrift verwendet wird, direkt auf dem Bauteil abgeschieden.

D2 beschreibt beispielhaft das Abscheiden einer Zirkoniumoxidschicht mit einer säulenförmigen Mikrostruktur auf dem Rumpf einer Turbinenschaufel bei 950°C. Lücken zwischen den Säulen werden mit bestimmten Ionen geladen, die vom Kunden identifizierbar sind, um die Echtheit des Bauteils zu erkennen. Die Beschichtung ist sehr dünn, circa 1 Mikrometer dick, und muss vor der Verwendung des Bauteils entfernt werden.

Ferner ist ein heißes Teil eines Busmotors bekannt, das aus mit einem Keramikoxid beschichteten Aluminium mit einer 30 Mikrometer dicken Aluminiumoxidschichtung besteht. Die verwendete Aluminiumoxidschicht hat eine säulenförmige Mikrostruktur, wobei die Säulen senkrecht zur Oberfläche des Motorenbauteils angeordnet waren. Allerdings hält Aluminium allein, selbst wenn es beschichtet ist, der Temperatur der Verbrennungszone von Turbinen nicht stand und somit nicht für Motoren einer Betriebstemperatur von mindestens 1600°C geeignet ist. Hinzu kommt, dass die säulenförmige Mikrostruktur durch Anodisieren hergestellt ist, das auf keinem anderen Metall säulenförmige Beschichtungen erzeugt.

Zusammenfassung der Erfindung

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Motorenbauteil (kurz: Bauteil) bereitzustellen, welches die Nachteile des Stands der Technik vermeidet. Insbesondere soll ein Motorenbauteil bereitgestellt werden, das für einen Betrieb bei einer Temperatur von mindestens 1600°C geeignet ist und eine besonders hohe Lebensdauer aufweist.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Motorenbauteil, das Folgendes aufweist:

- ein Substrat aus einer Superlegierung, und
- eine Keramikoxidschicht, die auf dem Substrat aufgebracht ist, die mindestens 25 Mikrometer dick ist, deren Schmelzpunkt über 1600°C liegt und die eine säulenförmige Mikrostruktur aufweist,

wobei zwischen benachbarten Säulen der säulenförmigen Mikrostruktur Lücken ausgebildet sind und

wobei ein Winkel zwischen den Säulen und einer Oberfläche des Substrats 75 bis 105° beträgt.

Ein solches Motorbauteil ist geeignet für einen Motor mit einer Verbrennungszone, die im Betrieb eine Temperatur von mindestens 1600°C.

Durch die Lücken zwischen den Säulen kann sich die Beschichtung (d.h. die Keramikoxidschicht) verformen, wenn sich das Substrat und das Keramikoxid der Keramikoxidschicht bei Erhitzung ausdehnen, und es entsteht eine wesentlich geringere Spannung zwischen den einzelnen Schichten.

Überraschenderweise wurde festgestellt, dass eine Keramikoxidschicht mit säulenförmiger Mikrostruktur die Superlegierungen genauso gut gegen hohe Temperaturen schützt wie herkömmliche Keramikoxidschichten. Die Keramikoxidschicht muss eine Dicke von mindestens 25 Mikrometern aufweisen, da andernfalls die Wärmedämmung nicht ausreichend ist.

Vorzugsweise ist zwischen dem Substrat und der Keramikoxidschicht eine Haftschrift mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten bereitgestellt, welcher zwischen Wärmeausdehnungskoeffizienten des Substrats und der Keramikoxidschicht liegt.

Dadurch kann eine Lebensdauer des Bauteils deutlich erhöht werden.

Vorzugsweise weist die Haftschrift Nickel und/oder Kobalt sowie 10-50 Gewichts-% Aluminium auf und weist die Kermamikoxidschicht Zirkoniumoxid auf.

In diesem Fall erhöht sich die Lebensdauer des beschichteten Bauteils besonders deutlich.

Vorzugsweise weist die Haftschrift die Nickel- oder die Kobaltlegierung auf, die neben den 10-50 Gewichts-% Aluminium bis zu 25 Gewichts-% Chrom und/oder Yttrium enthält.

Vorzugsweise hat die Haftschrift eine Dicke von 10-200 Mikrometer.

Vorzugsweise weist das Keramikoxid Zirkoniumoxid, Aluminiumoxid oder Titanoxid oder komplexe Oxide mit einer Pyrochlorstruktur auf.

Vorzugsweise ist die die Keramikoxidschicht direkt auf dem Substrat abgeschieden.

Ein solches Bauteil weist eine hohe Lebensdauer wie die aus Dokument D1 bekannten Bauteile auf, wiegt aber weniger, was bei der Verwendung des Bauteils in Flugzeugmotoren ein großer Vorteil ist.

Vorzugsweise ist die Keramikoxidschicht maximal 2 Millimeter dickt.

Dadurch kann sichergestellt werden, dass das Gewicht des Bauteils gering ist, was bei der Verwendung des Bauteils in Flugzeugmotoren ein großer Vorteil ist.

Vorzugsweise sind die einzelnen Säulen durch einen Stapel flacher Körper aus Keramikoxid gebildet.

Dies wird insbesondere dadurch erreicht, dass die Keramikoxidbeschichtung mittels Plasmaspritzen hergestellt wird. Ein solches Bauteil hat eine erhöhte Lebensdauer.

Vorzugsweise ist das Motorenbauteil ein Turbinenbauteil.

Vorzugsweise ist das Motorenbauteil eine Turbinenschaufel oder ein Teil einer Auskleidung einer Brennkammer eines Turbinenmotors oder eine Auskleidung eines Abgasbereichs eines Gasturbinenmotors oder ein Teil einer Pumpe in einem Raketenmotoren ist .

Vorzugsweise ist das Motorenbauteil die Turbinenschaufel ist und wobei die Turbinenschaufel hohl ausgebildet ist und Wände aus dem Substrat aufweist, welche außenseitig mit der Keramikoxidschicht beschichtet sind, wobei Löchern sich durch die Wände und die Kermamikoxidschicht erstrecken, derart, dass Kühlluft durch die Löcher aus einem hohlen Innenraum der Turbinenschaufel zu einer Außenfläche der Turbinenschaufel geleitet wird.

Ferner wird die Aufgabe gelöst durch die Verwendung eines Verfahrens zur Herstellung eines vorstehend beschriebenen Motorenbauteils, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- Anbringen des Substrats an einem Halter,
- Platzieren des Substrats und einer Quelle für Keramikoxid in einer Vakuumkammer,
- Senken des Drucks in der Vakuumkammer,
- Erhitzen des Substrats auf eine Temperatur von 920°C bis 1050°C,
- Verdampfen des Keramikoxids aus der Quelle durch einen Elektronenstrahl, und
- Abscheiden des verdampften Keramikoxids auf dem Substrat, um die Keramikoxidschicht zu bilden, bis eine Schichtdicke von mindestens 25 Mikrometern erreicht ist.

Vorzugsweise ist das Keramikoxid Zirkoniumoxid und wird das Substrat auf eine Temperatur von 950 - 1000°C erhitzt wird.

Ferner wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung eines vorstehend beschriebenen Motorenbauteils mit den Schritten:

- Beschichten des Substrats mit der Keramikoxidschicht, und
- anschließend Einbringen der Säulen in die Keramikoxidschicht.

Vorzugsweise wird die Keramikschicht durch Plasmaspritzen hergestellt.

Die Lebensdauer der nach diesem Verfahren hergestellten Beschichtung (d.h. der Keramikoxidschicht) ist höher als bei bekannten Beschichtungen, aber nicht so hoch wie bei Beschichtungen, die durch Elektronenstrahlverdampfung hergestellt wurden. Dieses Verfahren hat ferner den Vorteil, dass eine herkömmliche Beschichtungsvorrichtung verwendet werden kann.

Insbesondere sind die Säulen in diesem Fall aus Stapeln flacher Körner gebildet, wie vorstehend bereits beschrieben.

Vorzugsweise werden die Säulen durch eine Bearbeitung mit einem Laser in die Keramikoxidschicht eingebracht .

Vorzugsweise ist das Motorenbauteil eine vorstehend beschriebene hohl ausgebildete Turbinenschaufel ist, deren Löcher durch ein Durchbohren der Wände mit dem Laser hergestellt werden.

Ansprüche

1. Motorenbauteil, das Folgendes aufweist:

- ein Substrat aus einer Superlegierung, und
 - eine Keramikoxidschicht, die auf dem Substrat aufgebracht ist, die mindestens 25 Mikrometer dick ist, deren Schmelzpunkt über 1600°C liegt und die eine säulenförmige Mikrostruktur aufweist,
- wobei zwischen benachbarten Säulen der säulenförmigen Mikrostruktur Lücken ausgebildet sind und
- wobei ein Winkel zwischen den Säulen und einer Oberfläche des Substrats 75 bis 105° beträgt.

2. Motorenbauteil nach Anspruch 1, wobei zwischen dem Substrat und der Keramikoxidschicht eine Haftschrift mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten bereitgestellt ist, welcher zwischen Wärmeausdehnungskoeffizienten des Substrats und der Keramikoxidschicht liegt.

3. Motorenbauteil nach Anspruch 2, wobei die Haftschrift Nickel und/oder Kobalt sowie 10-50 Gewichts-% Aluminium aufweist und wobei die Keramikoxidschicht Zirkoniumoxid aufweist.

4. Motorenbauteil nach einem der Ansprüche 2 und 3, wobei die Haftschrift eine Dicke von 10-200 Mikrometer hat.

5. Motorenbauteil nach Anspruch 1, wobei die Keramikoxidschicht direkt auf dem Substrat abgeschieden ist.

6. Motorenbauteil nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Keramikoxidschicht maximal 2 Millimeter dick ist.

7. Motorenbauteil nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die einzelnen Säulen durch einen Stapel flacher Körper aus Keramikoxid gebildet sind.

8. Motorenbauteil nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Motorenbauteil eine Turbinenschaufel oder ein Teil einer Auskleidung einer Brennkammer eines Turbinenmotors, eine Auskleidung eines Abgasbereichs eines Gasturbinenmotors oder ein Teil einer Pumpe in einem Raketenmotor ist .

9. Motorenbauteil nach Anspruch 8, wobei das Motorenbauteil die Turbinenschaufel ist und wobei die Turbinenschaufel hohl ausgebildet ist und Wände aus dem Substrat aufweist, welche außenseitig mit der Keramikoxidschicht beschichtet sind, wobei Löchern sich durch die Wände und die Keramikoxidschicht erstrecken, derart, dass Kühlluft durch die Löcher aus einem hohlen Innenraum der Turbinenschaufel zu einer Außenfläche der Turbinenschaufel geleitet wird.

10. Verwendung eines Verfahrens zur Herstellung eines Motorenbauteils nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Verfahren folgende Schritte aufweist:

- Anbringen des Substrats an einem Halter,
- Platzieren des Substrats und einer Quelle für Keramikoxid in einer Vakuumkammer,
- Senken des Drucks in der Vakuumkammer,
- Erhitzen des Substrats auf eine Temperatur von 920°C bis 1050°C,
- Verdampfen des Keramikoxids aus der Quelle durch einen Elektronenstrahl, und
- Abscheiden des verdampften Keramikoxids auf dem Substrat, um die Keramikoxidschicht zu bilden, bis eine Schichtdicke von mindestens 25 Mikrometern erreicht ist.

11. Verwendung nach Anspruch 10, wobei das Keramikoxid Zirkoniumoxid ist und das Substrat auf eine Temperatur von 950 - 1000°C erhitzt wird.

12. Verfahren zur Herstellung eines Motorenbauteils nach einem der Ansprüche 1 bis 9 mit den Schritten:

- Beschichten des Substrats mit der Keramikoxidschicht, und
- anschließend Einbringen der Säulen in die Keramikoxidschicht.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei die Keramikschicht durch Plasmaspritzen hergestellt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 und 13, wobei die Säulen durch eine Bearbeitung mit einem Laser in die Keramikoxidschicht eingebracht werden.

15. Verfahren nach Anspruch 14, wobei das Motorenbauteil eine Turbinenschaufel nach Anspruch 9 ist, und die Löcher durch ein Durchbohren

der Wände mit dem Laser hergestellt werden.